

# GPS - Tecnologia a serviço da Agricultura

## Fundamentos do Sistema GPS

O GPS (Global Positioning System) é um sofisticado sistema eletrônico de navegação, baseado em uma rede de satélites que permite localização instantânea, em qualquer ponto da Terra, com uma precisão quase perfeita. Atualmente existem dois sistemas GPS disponíveis para uso no meio civil.



Jener

Um deles, conhecido como NAVSTAR, foi desenvolvido pelos Estados Unidos e é gerenciado por seu Departamento de Defesa. O outro sistema, conhecido como GLONASS, foi desenvolvido pela extinta União Soviética. A existência desses dois sistemas, com as mesmas finalidades, desenvolvidos pelas maiores potências militares, permite-nos afirmar que o GPS é uma tecnologia de guerra, desenvolvida na época da Guerra Fria. Tal tecnologia tornou-se de conhecimento público durante a Guerra do Golfo, quando mísseis atingiam seus alvos com a chamada "precisão cirúrgica". Na verdade, tanto mísseis como tropas militares, navios e tanques de guerra, se deslocavam na imensidão do deserto, sob a orientação de posicionamento proporcionada pelo GPS-NAVSTAR.

A importância desse sistema no meio militar foi tão grande e necessária, que essa tecnologia tornou-se então disponível para o meio civil, mas é claro que, por questões estratégicas, não com a mesma eficácia disponível para o uso militar.

No IAC, a aplicação desta tecnologia iniciou-se com o uso de GPS portáteis nos trabalhos de planejamento agroambiental de microbacias hidrográficas, onde o GPS é utilizado como ferramenta auxiliar na elaboração de mapas de solo e uso da terra. Mais recentemente, com o surgimento da Agricultura de Precisão, o GPS passou a ter grande aplicação no posicionamento de várias operações de agrícolas, desde colheitas até a aplicação localizada de insumos.

Neste artigo serão abordados os princípios básicos do GPS, procurando fornecer ao leitor, informações adicionais sobre a estrutura de funcionamento dessa tecnologia.

Devido à certa complexidade do assunto, no próximo número do O Agrônomo, será dada maior ênfase para as principais aplicações do sistema na Agricultura.

## Estrutura do Sistema GPS

O sistema é composto de três componentes principais: Segmento Espacial, Segmento de Controle e Segmento do Usuário.

O segmento espacial do sistema NAVSTAR é constituído, atualmente, de uma constelação de 24 satélites dispostos em seis órbitas diferentes, a uma altitude de 20.200 km (Figura 1). Sua distribuição no espaço permite que, em qualquer lugar do mundo e a qualquer momento, existam pelo menos quatro satélites disponíveis acima do plano do horizonte do usuário. Os satélites transmitem para os receptores GPS dos usuários, sinais de rádio que, uma vez processados, permitem o cálculo do posicionamento do usuário. O rádio montado nos satélites transmite sinais em duas bandas diferentes, chamadas Banda-L. As duas bandas, L1 e L2, são como duas emissores de televisão, cada uma funcionando com uma frequência diferente. A banda L1 é transmitida a uma frequência de 1.575,42 MHz e carrega dois códigos, o "Coarse/Aquisition" (C/A) e um código Preciso (P). A banda L2, transmitida a 1.227,60 MHz, possui apenas o código P, que pode ser recebido apenas por aparelhos militares. O uso das duas bandas, L1 e L2 e dos códigos por elas produzidos (Serviço Preciso de Posicionamento - PPS), só pode ser utilizado pelas Forças Armadas dos Estados Unidos e por seus aliados. O sinal livre para ser utilizado por civis é o C/A e é conhecido como Serviço de Posicionamento Padrão (SPS). Obviamente, há algumas diferenças entre ambos os sistemas. O receptor de PPS trabalha com acurácia de 22 metros na horizontal e 27,7 m na verti-



Figura 1. Constelação dos satélites GPS  
Fonte: Lazzarotto, 2000

cal em 95% do tempo, enquanto que o receptor de SPS, um receptor padrão e comum de uso civil, tem acurácia estimada em 100 metros na horizontal e 156 metros na vertical em 95% do tempo. A precisão desse posicionamento, como será discutido mais adiante, varia em função do tipo de equipamento, horário, efeitos de interferência atmosférica e local de trabalho do usuário.

- O segmento de controle é constituído de estações terrestres, gerenciadas pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos. São responsáveis pelo monitoramento dos satélites e executam correções de órbitas, identificação de defeitos, acertos dos relógios atômicos dos satélites. São vitais para o bom funcionamento do sistema.

- O segmento usuário é formado pelos receptores GPS disponíveis no mercado, com preços a partir de R\$ 400,00, dependendo dos recursos e aplicações de cada equipamento. Equipamentos mais sofisticados, para navegação e mapeamento, podem custar até R\$ 30.000,00. A função desses receptores é captar os sinais de rádio transmitidos pelos satélites, decodificá-los e, através de cálculos de geometria esférica, determinar a posição onde o usuário se encontra. Além de receber e decodificar os sinais dos satélites, os receptores são verdadeiros computadores que permitem várias funções de: referências; sistemas de medidas; sistemas de coordenadas; armazenagem de dados; troca de dados com outro receptor ou com um computador etc. Alguns modelos têm mapas muito detalhados em suas memórias. Uma pequena tela de cristal líquido e algumas teclas permitem a interação receptor/usuário (Gorvalho, 2000).

## Funcionamento do Sistema GPS

Para o cálculo da posição geográfica, o receptor de sinal GPS precisa determinar com precisão, a distância que ele se encontra dos satélites por ele captados num dado momento. Cada satélite envia continuamente sinais contendo sua posição e também uma medida de tempo. O receptor do usuário mede o tempo para que o sinal percorra a distância entre o satélite e a antena desse receptor. Esse tempo é utilizado para calcular a distância da antena a cada satélite. Para esse cálculo é utilizada a constante da velocidade da luz "c" que é de aproximadamente

300.000.000 m/s. O receptor mede o tempo "t" que o sinal levou para chegar até ele e calcula assim a distância "d" ao satélite, pela equação que segue:

$$d = c \cdot t$$

d = distância do receptor até o satélite  
c = velocidade do sinal (velocidade da luz)  
t = tempo percorrido pelo sinal.

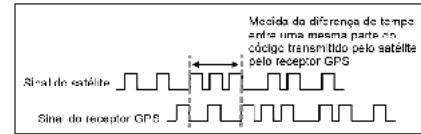


Figura 2. Frequências de rádio transmitidas pelo satélite e pelo receptor GPS. Para determinar o tempo que um dado código foi enviado pelo satélite, o receptor transmite continuamente os mesmos códigos. Quando o código enviado pelo satélite chega no receptor ele sabe quanto tempo atrás foi ele gerado.

Apesar de aparentemente simples, fica a questão: **como calcular o tempo que o sinal levou para deixar o satélite até ser captado pelo receptor do usuário?** Para solucionar essa questão, o receptor de sinais GPS, emite continuamente os mesmos códigos transmitidos pelos satélites. Assim, pela sincronia entre satélites e receptores, o receptor, ao receber um determinado sinal transmitido pelo satélite, calcula quanto tempo atrás esse mesmo sinal foi gerado (Figura 2, acima).

Solucionadas as incógnitas **tempo e velocidade**, obtém-se a distância que o satélite se encontra do receptor e, mediante cálculos de triangulação envolvendo conceitos de geometria esférica, o equipamento obtém a posição geográfica. Se a distância do satélite ao receptor é conhecida e a localização do satélite também o é, então o receptor está em algum lugar numa esfera (superfície da Terra) cujo centro é o satélite (Figura 3).

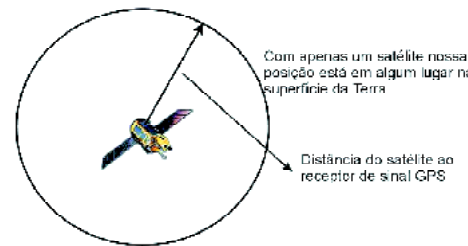


Figura 3. Representação da esfera formada pela órbita do satélite. A distância entre o satélite e o receptor é calculada de forma precisa.

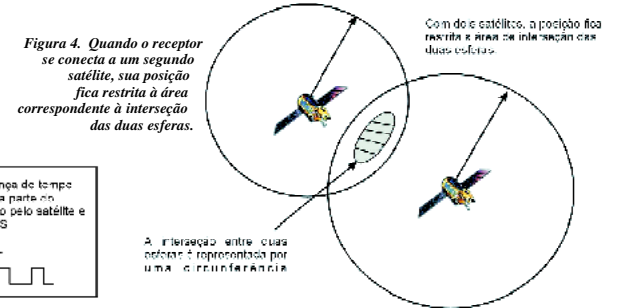


Figura 4. Quando o receptor se conecta a um segundo satélite, sua posição fica restrita à área correspondente à interseção das duas esferas.

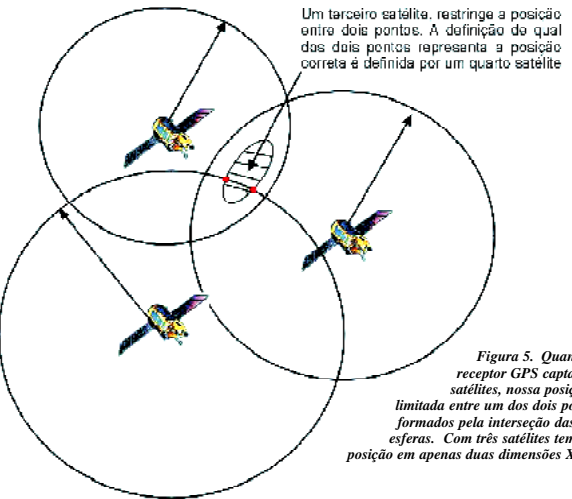


Figura 5. Quando o receptor GPS capta três satélites, nossa posição é limitada entre um dos dois pontos formados pela interseção das três esferas. Com três satélites temos a posição em apenas duas dimensões X e Y.

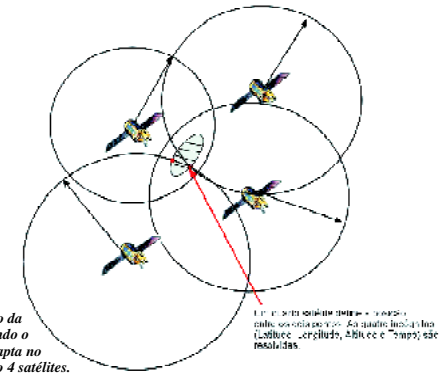


Figura 6. Determinação da posição correta quando o receptor GPS capta no mínimo 4 satélites.



O procedimento é repetido para cada um dos satélites que o receptor capta (Figuras 4, 5 e 6). Finalmente, o receptor determina o local em que as esferas se cruzam no espaço. O encontro de duas esferas determina um círculo; três esferas determinam dois pontos e quatro determinam apenas um ponto e o receptor tem então sua posição geográfica determinada.

#### Precisão do posicionamento

A precisão de uma posição fornecida pelo GPS pode variar de menos de 1 cm até mais de 20 metros, dependendo do equipamento, tipo de processamento utilizado e conhecimento do usuário sobre a operação do sistema de modo geral. Deve-se lembrar ainda que as coordenadas horizontais (X e Y) calculadas pelo GPS são de duas a cinco vezes mais precisas que a coordenada vertical (Z), ou seja, supondo que num levantamento a precisão horizontal esteja na ordem de 1 cm, a medida vertical será da ordem de 2 a 5 cm. Trata-se, portanto, de um fator importante, uma vez que se o mapeamento estiver sendo realizado com uma precisão horizontal de 2 a 5 metros o erro na vertical será da ordem de dezenas de metros.

Os principais fatores que interferem na precisão do posicionamento são:

#### • Erros nos relógios do satélite e do receptor

Todo o sistema de GPS, como visto anteriormente, baseia-se na medida de tempo que um sinal leva para sair do satélite e chegar ao receptor. Os satélites possuem relógios atômicos, muito precisos e caros demais para serem colocados nos receptores GPS dos usuários. Um dos erros mais comuns no posicionamento é oriundo de uma pequena defasagem entre os relógios dos satélites e receptores. Normalmente, os receptores quando captam no mínimo quatro satélites, conseguem eliminar o erro do relógio por meio de processamentos internos.

#### • Órbita dos satélites

Os satélites orbitam tão alto que a atmosfera da terra não tem efeito sobre eles. Entretanto, fenômenos naturais como forças gravitacionais originárias da Lua e do Sol e pressão da radiação solar criam pequenos desvios nas órbitas, alterando posição, altitude e velocidade dos satélites. Com o passar do tempo, esses erros se acumulam e se tornam significativos. A cada 12 horas a órbita dos satélites é rastreada e corrigida pela estação mestre de controle, o que não impede um erro médio de 0,6 m.

#### • Interferências atmosféricas

Presenças de vapores d'água na troposfera e de íons na ionosfera causam atrasos

na propagação dos sinais emitidos pelos satélites, o que pode resultar em erros no cálculo da distância entre receptor e satélite. Alguns equipamentos, entretanto, possuem recursos para corrigir ou reduzir esse tipo de fonte de erro.

#### • Reflexão do sinal

É um erro formado pela sobreposição de sinais, sendo um deles com atraso. Isso pode ocorrer quando estamos operando o receptor GPS próximo a grandes superfícies líquidas (lagos, represas), grandes superfícies metálicas ou sólidas que, de alguma forma, causam a reflexão do sinal enviando pelo satélite. O sinal que vem do satélite atinge a antena do receptor, mas uma parte do sinal pode ser refletida em alguma construção ou barreira natural e reincidir na antena, colaborando com um erro de 1 a 2 m.

#### Tipos de equipamentos

Existem receptores de diversos fabricantes para diferentes finalidades. Os portáteis, com preços a partir de R\$ 400,00, são utilizados mais para navegação ou em trabalhos que não exigem precisão de posicionamento inferior a 10 metros. Tais equipamentos são amplamente utilizados pelo IAC nos trabalhos de Levantamento de Solos ou no posicionamento dos pontos de coleta de amostras de solo no campo. Também podem ser utilizados para mapeamento do uso do solo em trabalhos mais generalizados e que posteriormente terão o apoio de interpretação de fotos aéreas ou imagens de satélites.

Já para trabalhos que exigem maior precisão, como é o caso do mapeamento do uso da terra em microbacias hidrográficas, delimitação de talhões, de propriedades agrícolas e mapeamento de estradas, o Instituto Agronômico utiliza equipamentos com Correção Diferencial. Na verdade, tais equipamentos são conhecidos como DGPS (Differential Global Positioning System). Esse procedimento, que será tratado com mais detalhe no próximo artigo, permite uma sensível melhoria na precisão do posicionamento com uma margem de erro inferior a 1 metro. O aumento sensível da precisão desses equipamentos também é acompanhado por um aumento de custo, que gira em torno de R\$ 30.000,00.

Nos trabalhos de Agricultura de Precisão onde, por exemplo, uma colhedora é equipada com um sistema GPS e sensores de produtividade que fornecem informações, em tempo real, sobre a posição da máquina, a quantidade colhida em cada posição registrada pelo GPS, são utilizados sistemas GPS que fornecem a posição em

tempo real com uma margem de erro de 2 metros. Nesse caso, o usuário deve pagar a uma empresa especializada pelo recebimento de comunicação via satélite do sinal GPS que permita uma precisão de 2 metros.

Mais detalhes envolvendo diferentes métodos de operação de equipamentos, formas de melhorar a precisão das posições obtidas com GPS portáteis e aplicações feitas com GPS serão abordadas no próximo número.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GORGULHO, M. G.P.S. – O Sistema de Posicionamento Global. 2000. Disponível na World Wide Web: <<http://www.geocities.com/Baja/Canyon/5201/gps/apostila.htm>>

LAZZAROTTO, D.R. GPS – Global Positioning System. Fator GIS [online]. 2000. Disponível na World Wide Web: <<http://www.fatorgis.com.br/geopro/gps.htm>>.

MOLIN, J.P. Utilização de GPS em agricultura de precisão. Engenharia Agrícola, 17(3): 121-132, 1998.

SILVA, A. de B. Sistemas de informações georreferenciadas. Campinas, Ed. da UNICAMP. 1999. 236 p.

TRIMBLE. GPS Mapping System – General Reference. Sunnyvale, California, Trimble, 1996. 75 p.

#### Jener F. L. de Moraes

IAC - Centro de Solos e Recursos Agroambientais  
Fone (19) 3231-5422, Ramal 165  
Endereço eletrônico: [jfmoraes@iac.br](mailto:jfmoraes@iac.br)

#### José Paulo Molin

ESALQ - Depto. de Engenharia Agrícola  
Fone (19) 429-4165  
Endereço eletrônico: [jpmolin@esalq.usp.br](mailto:jpmolin@esalq.usp.br)

#### José Guilherme de Freitas

IAC - Centro de Plantas Graníferas  
Fone (19) 3241-5188, Ramal 335  
Endereço eletrônico: [jfreitas@iac.br](mailto:jfreitas@iac.br)

O Agrônomo, Campinas, 53(1), 2001

# Anúncio AgroCast

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.